

**И. В. Снегирев**

ОАО «Каменск-Уральский металлургический завод», г. Каменск-Уральский  
Уральский федеральный университет имени первого  
Президента России Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург  
igor\_snegirev@mail.ru  
Научный руководитель — проф., д-р техн. наук Ю. Н. Логинов

## **РАСЧЕТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКИ АЛЮМИНИЯ И СПЛАВА АМГЗ**

Выполнены расчеты маршрутов холодной прокатки алюминия и сплава АМгЗ при условии поддержания усилия прокатки постоянным. Показано, что даже небольшой уровень легирования сплава приводит к необходимости пересмотра режима обжатий для получения желаемой планшетности продукции.

*Ключевые слова:* листовая прокатка, алюминиевые сплавы, напряжения, усилия, планшетность продукции.

**I. V. Snegirev**

## **CALCULATED PARAMETERS OF ALUMINUM AND AMG3 ALLOY COLD ROLLING**

Calculations of the routes of cold rolling of aluminum and AMg3 alloy have been performed under the condition of maintaining a constant rolling force. It is shown that even a small level of alloy doping leads to the need to revise the reduction regime to obtain the desired product flatness.

*Key words:* sheet rolling, aluminum alloys, stresses, forces, flatness of products.

**М**етодом листовой прокатки производится большое количество полуфабрикатов из алюминиевых сплавов, например для нужд авиационной промышленности. Крупной проблемой выпуска плоского проката является обеспечение планшетности продукции [1]. Наряду с приемами активной и пассивной регулировки профиля прокатных валков используется технологический прием поддержания усилия прокатки по проходам на уровне постоянной величины. В этом случае применяется подход с позиции сопромата: изгиб балки, роль которой выполняет прокатный валок, должен быть величиной постоянной. В соответствии с теорией упругости получаем тезис о том, что усилие  $P$

по проходам прокатки должно оставаться постоянной величиной, т. е. должно выполняться условие  $P = \text{const}$ .

Это условие не означает, что обжатия по проходам должны оставаться постоянными величинами, так как по маршруту прокатки большое количество величин может оказаться переменными. Уменьшается толщина проката, что приводит к изменению длины очага деформации, изменяется положение нейтрального сечения, вступают в действие эффекты упругого сплющивания валков, металл подвергается нагартовке при накоплении степени деформации и т. д.

В данной работе сделан акцент на установление зависимости обжатий, приводящих к одинаковому усилию прокатки, от вида прокатываемого материала. В результате можно установить следующее: должны ли все марки алюминиевых сплавов прокатываться по одинаковому маршруту прокатки или для каждой марки придется выбирать свой маршрут?

Усилие плоской прокатки при отсутствии переднего и заднего натяжения, а также без учета упругого сплющивания определяется формулой [2, с. 252]:

$$P_i = p_{\text{ср}i} \cdot B_i \cdot l_i, \quad (1)$$

где  $i$  — номер прохода;  $p_{\text{ср}i}$  — среднее удельное давление;  $B_i$  — ширина полосы (может быть принята постоянной в условиях плоской деформации),  $l_i$  — длина очага деформации.

Величина  $p_{\text{ср}i}$  может вычисляться по различным методикам, например для плоской холодной прокатки в валках радиусом  $R$  без натяжения:

$$p_{\text{ср}i} = 1,15 \cdot \sigma_{\text{ср}i} \cdot \frac{2 \cdot h_i}{\Delta h_i \cdot (\delta_i - 1)} \left[ \left( \frac{h_{\text{н}i}}{h_i} \right)^{\delta_i} - 1 \right], \quad (2)$$

где  $\sigma_{\text{ср}i}$  — среднее за проход сопротивление деформации;  $\Delta h_i = h_{i-1} - h_i$  — абсолютное обжатие;  $\delta_i = 2 \mu \frac{l_i}{\Delta h_i}$  — параметр Целикова;  $\mu$  — коэффициент трения;  $l_i = \sqrt{R \Delta h_i}$  — длина очага деформации;

$$h_{\text{н}i} = h_i \cdot \left\{ \frac{1 + \sqrt{1 + (\delta_i^2 - 1) \cdot \left( \frac{h_{i-1}}{h_i} \right)^{\delta_i}}}{\delta_i + 1} \right\}^{\frac{1}{\delta_i}} \quad \text{— высота очага деформации в нейтраль-}$$

ном сечении, характеризуемом центральным углом  $\gamma_i$ .

Для описания свойств прокатываемого материала выбраны кривые упрочнения для алюминия марки А1 (рис. 1):

$$\sigma_s = 60 + 6,4\varepsilon^{0,62},$$

для сплава АМгЗ:

$$\sigma_s = 75 + 64\varepsilon^{0,30},$$

где  $\varepsilon$  — накопленное относительное обжатие, выраженное в процентах.

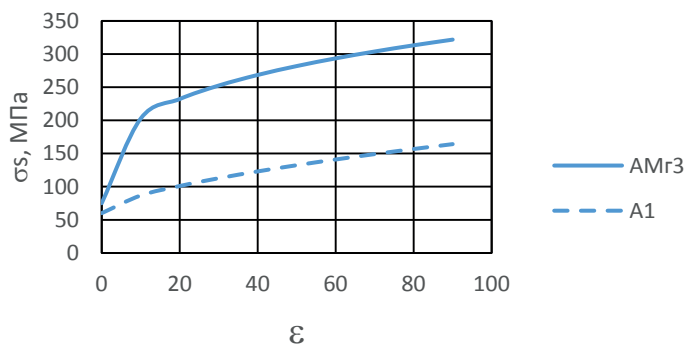


Рис. 1. Вид кривых упрочнения

Как видно из графиков, материалы обладают различной интенсивностью упрочнения.

При переходе от одного прохода к другому накопленное относительное обжатие определяется по формуле  $\varepsilon_i = 100 (h_0 - h_i)/h_0$ , т. е.  $\varepsilon_1 = 100 (h_0 - h_1)/h_0$ ,  $\varepsilon_2 = 100 (h_0 - h_2)/h_0$  и т. д. Среднее за проход сопротивление деформации определяли по формуле  $\sigma_{срi} = (\sigma_{si-1} + \sigma_{si})/2$ .

Следующим этапом выполняли расчеты силы прокатки при использовании следующих входных параметров:  $R = 200$  мм,  $h_0 = 6$  мм,  $h_1 = 4$  мм,  $B = 1000$  мм,  $\mu = 0,1$  по четырем проходам прокатки. Методом итераций подбирали обжатия для достижения равных усилий деформирования (табл. 1, 2).

Таблица 1

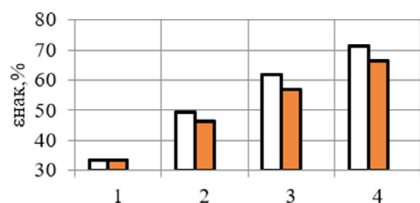
**Параметры прокатки алюминия марки А1 при поддержании постоянного усилия 2379 кН**

№ прохода	$\varepsilon_{\text{нак}}, \%$	$\sigma_{срi}, \text{МПа}$	$p_{срi}, \text{МПа}$	$h_i, \text{мм}$	$\varepsilon, \%$
1	33	88	119	4,00	33
2	49	124	171	3,03	24
3	62	137	196	2,30	24
4	72	146	220	1,71	26

**Параметры прокатки алюминиевого сплава АМгЗ  
при поддержании постоянного усилия 4498 кН**

№ прохода	$\varepsilon_{\text{нак}}, \%$	$\sigma_{\text{срп}}, \text{МПа}$	$p_{\text{срп}}, \text{МПа}$	$h_i, \text{мм}$	$\varepsilon, \%$
1	33	167	225	4,00	33
2	46	268	362	3,23	19
3	57	284	394	2,58	20
4	66	295	425	2,02	22

а



б

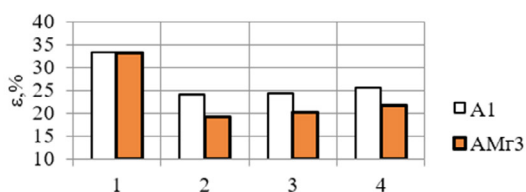


Рис. 2. Обжатие по маршруту:

а — относительное; б — накопленное относительное

Как видим из графиков на рис. 2, если использовать правило соблюдения постоянного усилия прокатки, то необходимо создавать уникальный маршрут для каждой марки алюминия и его сплавов. Подбор параметров прокатки для обеспечения этого условия позволяет вести прокатку, например, без применения автоматизированной системы поддержания плоскостности проката. Если система все же применяется, то минимизируются последствия транспортного запаздывания при приведении в действие механизмов, выравнивающих поверхность листа.

Дополнительно выполненные расчеты [3, 4] помогли бы установить, при каком режиме обжатий достигаются меньшие энергетические затраты на проведение процесса.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1 Логинов Ю. Н., Пузанов М. П., Урицкий А. Г. Исследование причин деформации кромки тонколистовой электротехнической стали и улучшение ее плоскостности // Сталь. 2017. № 4. С. 29–34.
- 2 Теория прокатки : справочник / А. И. Целиков [и др.]. М. : Металлургия, 1982. 335 с.
- 3 Хензель А., Шпиттель Т. Расчет энергосиловых параметров в процессах обработки металлов давлением. М. : Металлургия, 1982. 360 с.
- 4 Логинов Ю. Н. Анализ энергозатрат при горячей прокатке листовых полуфабрикатов из алюминия // Производство проката. 2005. № 4. С. 19–24.